

для К-5 равнялась  $620 \pm 5$  °С, температуры пламени достигали  $730 \pm 5$  °С для К-10 и  $905 \pm 5$  °С для К-15 соответственно.

Увеличивающаяся доля нанопорошка в композиции и пропорционально ей повышающееся количество топливных реагентов привело к росту температуры синтеза. С ростом температуры активнее выделялись газы, разрыхляющие реакционную массу; увеличивался объем продукта; снижалась удельная поверхность ( $127$ ,  $121$  и  $108$  м<sup>2</sup>/г для К-5, К-10 и К-15 соответственно), т.к. порошки отжигались, и происходило закрытие поверхностных пор. Данные РФА показали возрастание степени кристалличности  $ZrO_2 - Y_2O_3$  с повышением температуры. Но температура не оказала влияния на степень выгорания твердого углерода. Так, К-15, для синтеза которой пропорционально массовой доли  $ZrO_2 - Y_2O_3$  вводили большее количество  $C_2H_5NO_2$ , имела серый цвет, в то время как К-5 была практически белой.

Синтезированные порошковые композиции предназначены для получения опытных образцов горячепрессованной керамики.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МИКРООБРАЗЦОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Самигуллин Г.Х., Назарова М.Н., Самигуллина Л.Г.\*

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,  
г. Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: [lil\\_1992@mail.ru](mailto:lil_1992@mail.ru)

## **APPLICATION OF MINI-SAMPLE METHOD FOR DAMAGE ASSESSMENT OF METAL ELEMENTS**

Samigullin G.H., Nazarova M.N., Samigullina L.G.

National mineral resources university (Mining university), St Petersburg, Russia

The paper describes the determination of mechanical properties using mini-samples to assess the level of damage of metal structures. We propose the Small Punch Test, which can be considered as non-destructive method. According to the results of test diagram "stress – displacement" is constructed that contains characteristic points. Assessment of distortion is carried out by comparing the position of these points of the original specimens and specimens subjected to prior plastic deformation.

В настоящее время существует необходимость оперативного контроля и оценки состояния металла элементов, что обуславливает активные разработки инновационных методов. Среди них наиболее перспективным считается тест на

вдавливание (Small Punch Test – SPT), основанный на использовании миниатюрных образцов.

Суть метода SPT состоит во вдавливании индентора со сферическим или цилиндрическим наконечником в образцы небольшого размера вплоть до его разрушения (рис. 1). При этом контролируются величина нагрузки ( $H$ ) и значения перемещения индентора (мм), после чего строится диаграмма «Усилие – Перемещение». Основные проблемы, возникающие при оценке результатов испытаний, были связаны с получением корреляции между результатами SPT и стандартных испытаний, например, на растяжение [1-4].

Последовательность действий при проведении теста состоит из установки подкладного кольца в машину, крепления индентора при помощи резьбы, установки испытуемого образца на подкладное кольцо, вдавливания его под действием статической нагрузки со скоростью 0,2 мм/мин внутрь кольца вплоть до разрушения образца. Для проведения сравнительной оценки изменений физико-механических характеристик методом SPT была проведена предварительная деформация образцов из стали Ст3 на ножном молоте с последующим испытанием этих образцов по описанной выше методике.

Во всех случаях зарегистрировано значительное уменьшение величины  $d_m$  на 25...70%, а также в большинстве случаев зарегистрировано увеличение координат характерной точки  $E F_e$  и  $d_e$  в диапазоне от 8 до 70 %.

Результаты испытаний предлагаемого метода вдавливания с использованием микро-образцов позволяют получить сведения об изменении напряженно-деформированного состояния металла нефтегазового оборудования и производственных сооружений в процессе эксплуатации. По представленным данным, для получения стабильных детерминированных результатов испытаний, рекомендуется использовать микро-образцы с диаметрами от 5,0 до 20,0 мм с толщиной образцов 0,5 мм.

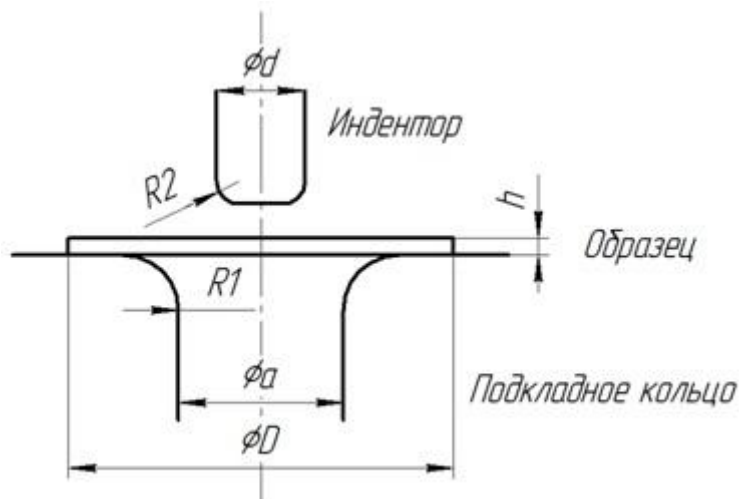


Рис. 1. Схема проведения испытаний:  $D$ ,  $h$  – диаметр и толщина образца, мм;  $a$ ,  $R_1$  – внутренний диаметр и радиус закругления подкладного кольца, мм;  $d$ ,  $R_2$  – диаметр и радиус закругления индентора, мм

1. Wang Z.-X. et al. Small punch testing for assessing the fracture properties of the reactor vessel steel with different thicknesses // Nuclear Engineering and Design. Vol. 238, issue 12. pp. 3186-3193 (2008)
2. Matocha K., Purmzensky J. The Evaluation of Materials Properties of in-Service components by Small Punch Tests // Journal of KONES Powertrain and transport. Vol. 16, no 4. p. 315 (2009)
3. Džugan J., Konopík P. Evaluation of fracture toughness properties for low carbon steel in the brittle state by small punch test technique // Hutnické listy. Vol. LXIII. pp. 119-122 (2010)
4. Konopík P., Džugan J. Determination of Tensile Properties of Low Carbon Steel and Alloyed Steel 34CrNiMo6 by Small Punch Test and Micro-Tensile Test // Conference proceeding: 2nd International conference. pp. 319-328 (2012)

### **СИНТЕЗ, КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $\text{YBaFe}_{2-x}\text{Cu}_x\text{O}_{5+\delta}$**

Брюзгина А.В.<sup>\*</sup>, Урусова А.С., Аксёнова Т.В., Черепанов В.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург, Россия

\*E-mail: [anna.brjuzgina@urfu.ru](mailto:anna.brjuzgina@urfu.ru)

### **SYNTHESIS, CRYSTAL STRUCTURE AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF $\text{YBaFe}_{2-x}\text{Cu}_x\text{O}_{5+\delta}$**

Bryuzgina A.V.<sup>\*</sup>, Urusova A.S., Aksenova T.V., Cherepanov V.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

According to the results of X-ray diffraction analysis the homogeneity range for the  $\text{YBaFe}_{2-x}\text{Cu}_x\text{O}_{5+\delta}$  solid solutions at studied conditions ( $T = 1273 \text{ K}$ , air) appears within  $1.0 \leq x \leq 1.1$ . XRD pattern for all single phase samples were refined by Rietveld method within the tetragonal structure  $a_p \times a_p \times 2a_p$  (S.G.  $P4mm$ ). The value of oxygen content for the sample  $\text{YBaFeCuO}_{5+\delta}$  obtained from the result of TGA reduction was equal to  $(5+\delta) = 5.02 \pm 0.01$ . Thermal expansion of  $\text{YBaFeCuO}_{5+\delta}$  remain linear within temperature range 298 – 1273 K.

Слоистые перовскиты  $\text{LnBaMe}_2\text{O}_{5+\delta}$  (где Ln – РЗЭ; Me – Mn, Fe, Co) в настоящее время вызывают повышенный интерес для применения в качестве катодных материалов в твердооксидных топливных элементах. Настоящая работа посвящена изучению кристаллической структуры и кислородной нестехиометрии слоистых перовскитов на основе  $\text{YBaFeCuO}_{5+\delta}$  при 1273 К на воздухе.